doi:10.13866/j.azr.2018.06.22

水盐胁迫对裸果木种子萌发的影响①

魏振艳， 黄海霞， 欧阳尔乾， 杨琦琦， 连转红
（甘肃农业大学林学院，甘肃 兰州 730070）

摘 要： 以裸果木（*Gymnocarpos przewalskii*）种子为供试材料，在渗透势分别为 -0.3、-0.5、-0.7、-0.9、-1.2 MPa 条件下，以蒸馏水为对照（0 MPa），分析模拟水分（PEG-6000）和盐分（NaCl）胁迫对种子萌发的影响，以确定其耐旱性和耐盐性。结果表明：两种胁迫均使裸果木种子的萌发受到明显抑制，聚乙二醇（PEG）胁迫使种子的萌发指数、活力指数和胚根长度均显著降低，渗透势≤ -0.7 MPa 时，萌发率显著下降。NaCl 胁迫下萌发指数和胚根长度均显著降低，渗透势≤ -0.9 MPa 时，萌发率显著降低，萌发指数、活力指数和胚根长度对水盐胁迫敏感，可作为评价裸果木种子萌发耐旱耐盐性的主要指标。等渗条件下，渗透势为 -0.7 MPa 和 -0.9 MPa 时，PEG 胁迫下种子萌发率、活力指数、胚轴长度显著低于 NaCl 胁迫；渗透势≤ -0.7 MPa 时，PEG 处理的发芽势、萌发指数明显低于 NaCl 处理，说明影响裸果木种子萌发的主要因素是渗透胁迫，而不是离子毒害。种子萌发耐受 PEG 胁迫的临界值为 -0.8 MPa，极限值为 -1.1 MPa；耐受 NaCl 胁迫的临界值为 -1.5 MPa，极限值为 -2.2 MPa，表明裸果木种子萌发期的耐盐性大于耐旱性。

关键词： 裸果木（*Gymnocarpos przewalskii*）；等渗条件；NaCl 胁迫；PEG 胁迫；种子萌发；安西

裸果木（*Gymnocarpos przewalskii*）属于石竹科裸果木属，属于古地中海成分，为亚洲中部荒漠区分布的比较稀少的第三纪孑遗植物，是盐生环境中最古老的类群，具有抗干旱、耐盐碱、耐贫瘠、寿命长、根系深、耐风蚀沙埋等特点，对防治荒漠化，保护和维持荒漠生态系统平衡起到了积极的作用[1]。目前，由于生存条件恶劣，结籽率低，以及其有性繁殖能力极低，又受到人类活动的影响，裸果木的种群数量减少，分布区日益缩小[2]，在塔里木盆地、河西走廊等很多原有的分布区已经消失[3]，被确定为国家一级保护植物。

干旱荒漠区降水稀少，而巨大的蒸发量会引起土壤次生盐渍化问题逐渐加剧[4]，造成干旱胁迫与盐碱胁迫同时发生，且两种因子在盐碱土壤中关系密切[5]。裸果木主要分布于荒漠区的干河床、戈壁滩、砾石山坡[6]，其种子萌发常会受到干旱和盐分胁迫，进而影响其幼苗建成。从种子萌发到幼苗生长阶段，是植物生活史种子扩散和种群更新的桥梁[7]，也是植物生活史中最脆弱的时期[8-9]，如果能够度过这一时期，植物抗逆性和适应性将会大幅度提高[10-11]。目前，等渗的 NaCl 和聚乙二醇（PEG）溶液对其他植物种子萌发过程影响的研究较多[12-14]，对裸果木种子萌发阶段的研究涉及到光照、温度、PEG 胁迫或 NaCl 胁迫[15-16]，而关于水盐胁迫效应的对比研究未见报道。因此，本研究以裸果木种子为试验材料，采用等渗的 PEG-6000 和 NaCl 溶液模拟干旱和盐胁迫对种子萌发的影响，为其在干旱盐碱地栽培、荒漠区植被恢复和生态环境建设提供一定的理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

裸果木种子于 2017 年 7 月采自安西极旱荒漠国家级自然保护区植物园，采集后用牛皮纸信封带回，人工去除宿存萼片，选取饱满一致的种子进行挑选（结实率约为 7%），4 ℃下保存备用。

1.2 试验设计

将 PEG 和 NaCl 配制成渗透势为 -0.3、-0.5、-0.7、-0.9、-1.2 MPa 的等渗溶液，相当于 NaCl 溶液浓度为 81、135、188、242、323 $mmol \cdot L^{-1}$。

① 收稿日期：2018-04-11； 修订日期：2018-07-24
基金项目：甘肃省社科规划办项目“十三五”生态环境建设与保护问题研究（12032JJ）
作者简介：魏振艳（1988-）女，硕士生，研究方向为荒漠灌木生理生态
通讯作者：黄海霞. E-mail：hhx@gsau.edu.cn

PEG 和 NaCl 溶液的渗透势分别参照 Michel 与 Kaufmann[17] 与 Michel 和 David[18] 的公式计算。

1.3 种子萌发试验方法

种子经 10% 的 84 消毒液消毒 1 ~ 2 min,蒸馏水冲洗后放入发芽床(2 层纱布和 1 层滤纸的培养皿),以蒸馏水为对照(CK,0 MPa),每处理设 3 个重复,每重复 30 粒种子,每个培养皿加入 7 mL 相应的处理溶液,为防止蒸发,用封口膜密封培养皿。于人工气候箱内进行萌发试验,光照 14 h · d^{-1},温度 25 ℃,湿度 60%。每 24 h 观察记录发芽数,连续 5 d不再发芽时结束试验。

1.4 测定指标

根据发芽种子数,计算萌发率、发芽势、萌发指数,测定胚根和胚轴的长度,计算活力指数。当种子萌发率分别下降到 50% 和 25% 时,所对应的渗透势作为种子萌发的临界值和极限值[18]。

萌发率 = $SN_1/SN_0 \times 100\%$

发芽势 = $SN_m/SN_0 \times 100\%$

萌发指数(GI) = $\sum(Gt/Dt)$

活力指数 = $GI \times S$

式中:SN_0 为供试种子总粒数;SN_1 为萌发种子数;SN_m 为种子萌发达到最高峰时发芽种子数;Dt 为发芽天数;Gt 表示与 Dt 相对应的每天发芽种子数;S 为胚轴平均长度(mm)。

1.5 数据分析

数据处理、分析和作图采用 Microsoft Excel 2010 进行,采用 SPSS 17.0 统计分析软件进行单因素方差分析,采用 Duncan 法进行多重比较,检验水平为 0.05。

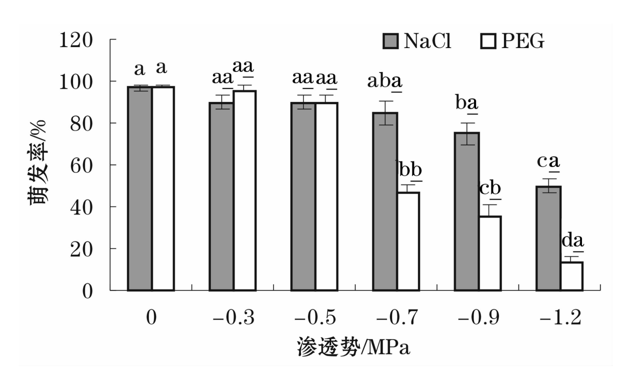
2 结果与分析

2.1 等渗的水分和盐分胁迫对裸果木种子萌发率的影响

PEG 和 NaCl 胁迫下裸果木种子的萌发率随着渗透势的降低呈下降趋势(图 1)。当 PEG 和 NaCl 溶液渗透势分别≤ -0.7 MPa 和≤ -0.9 MPa 时,萌发率与对照相比差异显著($P<0.05$)。在渗透势为 -1.2 MPa 时,两种胁迫处理的萌发率都达到最低,分别低于对照 48.3% 和 86.2%。当渗透势为 -0.7 MPa 和 -0.9 MPa 时,PEG 处理的萌发率均显著低于 NaCl 处理。相关分析表明,萌发率与渗透势呈极显著负相关($P<0.01$),因此,用一元线性回归方程进行拟合(表 1)。据此预测出种子在干旱胁迫下萌发的临界值和极限值分别为 -0.8 MPa 和 -1.1 MPa,在盐分胁迫下分别为 -1.5 MPa 和 -2.2 MPa,说明种子萌发对 PEG 胁迫更为敏感。

2.2 等渗的水分和盐分胁迫对裸果木种子发芽势的影响

随着渗透势的降低,两种胁迫处理种子的发芽势均呈现降低趋势,且 PEG 处理下降幅度较大(图 2)。PEG 和 NaCl 处理分别在渗透势≤ -0.5 MPa 和≤ -0.7 MPa 时发芽势显著低于对照($P<0.05$)。



注:不同字母表示同一胁迫类型不同渗透势之间差异显著($P<0.05$),相同渗透势条件下,带下划线的字母不同时,表示两种类型之间差异显著。下同。

图 1 不同渗透势水分和盐分胁迫对种子萌发率的影响

Fig. 1 Effect of water and salt stress on seed germination rate under different osmotic potentials

表 1 种子萌发率与渗透势之间的关系

Tab. 1 The relationship between seed germination rate and osmotic potential

处理	回归方程	相关系数(R)	临界值/MPa	极限值/MPa
PEG	$y=0.788x+1.101$	0.942 9	-0.8	-1.1
NaCl	$y=0.361x+1.028$	0.915 0	-1.5	-2.2

注:x 表示渗透势;y 表示萌发率。

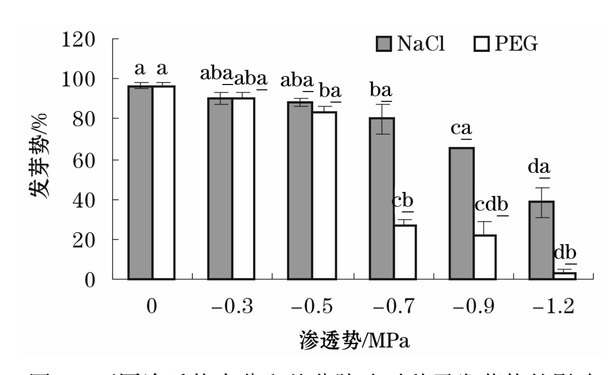


图 2 不同渗透势水分和盐分胁迫对种子发芽势的影响

Fig. 2 Effect of water and salt stress on seed germination potential under different osmotic potentials

在渗透势≤-0.7 MPa 时,PEG 胁迫下的发芽势显著低于 NaCl 胁迫。当渗透势为-1.2 MPa 时,PEG 处理和 NaCl 处理的发芽势分别较 CK 降低了 96.6% 和 60.3%。

2.3 等渗的水分和盐分胁迫对裸果木种子萌发指数的影响

水盐胁迫均使种子的萌发指数显著降低,且 PEG 处理下降幅度更大(图 3)。当渗透势≤-0.7 MPa 时,PEG 处理的萌发指数显著低于 NaCl 处理($P<0.05$)。渗透势为-1.2 MPa 时,PEG 和 NaCl 处理的萌发指数分别较 CK 降低了 95.5% 和 77.3%。

2.4 等渗的水分和盐分胁迫对裸果木种子活力指数的影响

PEG 和 NaCl 胁迫下,种子的活力指数均呈明显的下降趋势(图 4),在渗透势≤-0.3 MPa 和≤-0.5 MPa 时,分别与对照达到显著差异($P<0.05$)。渗透势为-1.2 MPa 时,活力指数均为最低,与 CK 相比,分别下降了 100% 和 93.7%。渗透势为-0.3 ~ -0.9 MPa 时,PEG 的胁迫效应显著大于 NaCl($P<0.05$)。

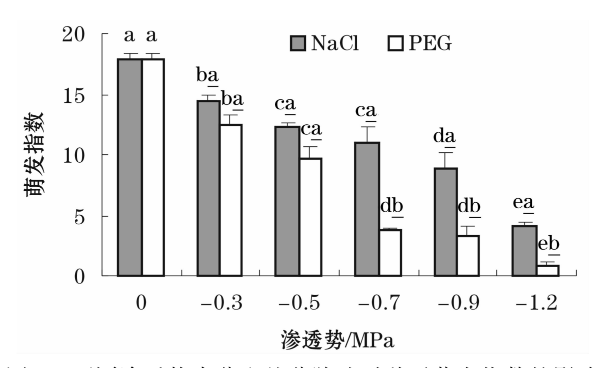


图 3 不同渗透势水分和盐分胁迫对种子萌发指数的影响

Fig. 3 Effect of water and salt stress on seed germination index under different osmotic potentials

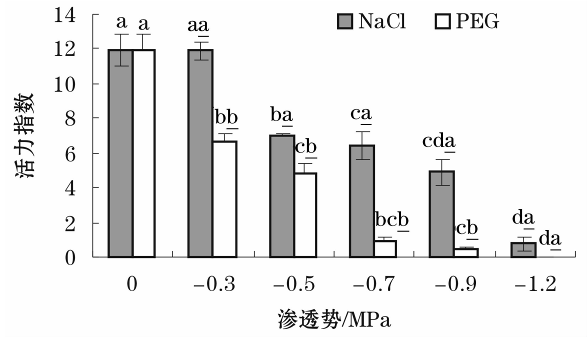


图 4 不同渗透势水分和盐分胁迫对种子活力指数的影响

Fig. 4 Effect of water and salt stress on seed vigor index under different osmotic potentials

2.5 等渗的水分和盐分胁迫对裸果木种子胚根、胚轴生长的影响

对逆境条件下胚根生长的研究可以反映植物抗逆性[19]。水盐胁迫对种子胚根的生长均表现出显著的抑制作用(图 5)。渗透势为-0.3 MPa 和≤-0.7 MPa 时,PEG 胁迫对胚根生长的抑制作用更为明显,渗透势为-0.5 MPa 时,PEG 处理的胚根长显著大于 NaCl 处理($P<0.05$),其他条件下,前者对胚根生长的影响大于后者,但两者间差异不显著。渗透势为-1.2 MPa 时,胚根长度分别较 CK 下降了 100% 和 93.8%。

由图 6 表明,渗透势为-0.3 MPa 时,NaCl 处理的种子胚轴长度大于对照,表现出对胚轴生长的促进作用;渗透势为-0.3 ~ -0.9 MPa 时,胚轴长度与对照无明显差异,当渗透势为-1.2 MPa 时,胚轴生长受到显著抑制($P<0.05$),较对照下降了 75.3%。在渗透势为-0.3 ~ -0.5 MPa 时,PEG 胁迫下胚轴长度与 CK 间差异不显著;渗透势为-0.7 MPa 和-0.9 MPa时,PEG处理的胚轴长均显著低

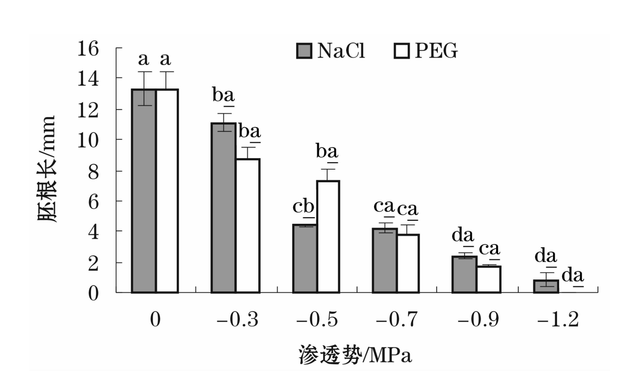


图 5 不同渗透势水分和盐分胁迫对种子胚根长的影响

Fig. 5 Effect of water and salt stress on seed radicle length under different osmotic potentials

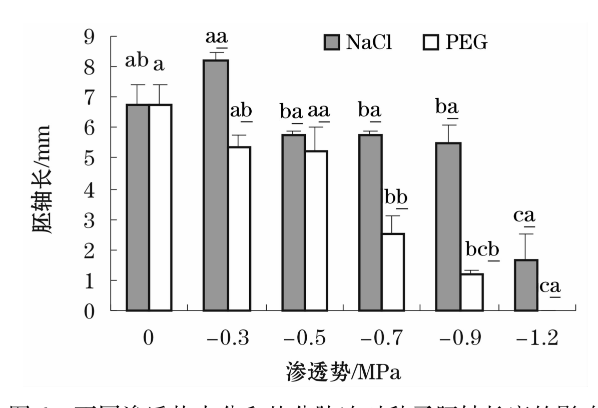


图 6 不同渗透势水分和盐分胁迫对种子胚轴长度的影响

Fig. 6 Effect of water and salt stress on hypocotyl length under different osmotic potentials

于 CK 和 NaCl 处理,说明 PEG 处理对种子胚轴生长的抑制作用更明显。

3 讨论与结论

3.1 讨论

种子萌发在植物生活史中起着关键作用[20-22],而水分和盐胁迫对种子萌发具有明显影响[23],种子萌发对干旱和盐分环境的响应反映了植物种子适应逆境的生态机制。水盐胁迫对种子萌发的抑制程度具体表现为降低种子萌发率、萌发指数、延长萌发时间等[24]。

聚乙二醇(PEG)是造成干旱胁迫的渗透剂,对种子萌发的影响仅表现为渗透效应。干旱胁迫显著影响裸果木种子的萌发,随着 PEG 溶液渗透势的降低,萌发率、发芽势、萌发指数、活力指数、胚轴与胚根长度均降低,且低于对照,这与荒漠灌木花花柴[23]的研究结果相一致,这主要是由于环境中水势降低,细胞失水,导致细胞代谢活动下降所致[25]。当 PEG 渗透势≤-0.7 MPa 时,种子的萌发率、发芽势和胚轴长度显著低于对照;当渗透势≤-0.3 MPa 时,发芽指数、活力指数及胚根长度已与对照存在显著性差异,而连转红等[16]研究发现,当 PEG 溶液的渗透势为-0.7 MPa 时,裸果木种子的萌发率未受到显著影响,但当渗透势为-0.5 MPa 时,发芽势与活力指数才显著降低,这可能是供试材料的采种年限不同,采种地的水分条件有差异,种子的活力不同所致。

盐分对种子萌发的影响一般可归结为渗透和离子效应[26]。随着 NaCl 溶液浓度增加,裸果木种子萌发率、发芽势、萌发指数、活力指数逐步降低,这可能是由于较高浓度的 NaCl 溶液已对种子造成渗透胁迫,减缓了种子的吸胀作用,影响到细胞的正常代谢,导致萌发能力下降[27]。当 NaCl 溶液渗透势≥-0.7 MPa 时,萌发率和胚轴生长未受到显著影响,对盐分胁迫表现出一定的忍耐性,这和马闯等[28]在杠柳上得出的研究结果基本一致。本试验中,裸果木种子发芽势、活力指数、发芽指数和胚根长度明显受抑制的渗透势依次升高(≤-0.7 MPa、≤-0.5 MPa、≤-0.3 MPa),表明 NaCl 胁迫对种子萌发的抑制作用主要体现在发芽速度和胚根生长上。

干旱胁迫和盐胁迫既相似又存在差异,渗透势为-0.7~-0.9 MPa 时,PEG 胁迫使裸果木种子的萌发率、活力指数、胚轴长显著低于 NaCl 胁迫;渗透势≤-0.7 MPa 时,PEG 胁迫下的发芽势、萌发指数显著低于 NaCl 胁迫,说明等渗条件下 PEG 对种子的伤害比 NaCl 更大,在低渗透势下(≤-0.7 MPa)水盐胁迫影响种子萌发的差异性更加明显,这种现象也出现在盐穗木种子萌发的过程中[13]。PEG 溶液处理种子,对其形成渗透胁迫影响细胞水分吸收,从而抑制种子的萌发;而 NaCl 溶液对种子还具有离子效应,对裸果木而言,NaCl 离子效应可能表现为一定的正效应,种子从溶液中吸收无机离子进行一定的渗透调节,降低细胞水势,从而缓解其对种子萌发的渗透胁迫[29],而且盐生植物的这种渗透调节能力随外界盐浓度的增加而提高[30]。PEG 溶液对种子萌发的抑制作用较 NaCl 更为明显,表明影响裸果木种子萌发的因素主要是渗透胁迫,而不是离子毒害。裸果木在盐渍化地区较干旱地区更易萌发生长,可以用于改良利用轻度盐渍土,但盐化程度过高或干旱将会抑制其萌发和幼苗建植。

裸果木种子能够在干旱与盐分胁迫下萌发,说明种子自身具有潜在的耐旱、耐盐特性,而水分和盐分胁迫不仅会直接影响植物的种子萌发和生长,而且影响植物体内抗氧化酶、叶绿素、糖和脯氨酸等有机物大分子的生理生化调控[31]。本研究仅涉及了水分和盐分胁迫对种子萌发的直接表现,还需要研究种子萌发对水盐胁迫的生理生化响应,以探明其对逆境的响应机制。

3.2 结论

等渗条件下,PEG 和 NaCl 胁迫均显著影响裸果木种子的萌发,萌发指数、活力指数、胚根长度对水盐胁迫最为敏感,其次为发芽势,萌发率和胚轴长度的敏感度最小。当渗透势≤-0.7 MPa 时,PEG 胁迫使种子的萌发率显著下降,渗透势≤-0.9 MPa 时,NaCl 胁迫显著降低种子的萌发率。渗透势为-0.7 MPa 和-0.9 MPa 时,PEG 胁迫对种子萌发率、活力指数和胚轴生长的抑制作用显著大于 NaCl 胁迫,渗透势≤-0.7 MPa 时,PEG 胁迫对萌发指数和发芽势的胁迫效应显著大于 NaCl 胁迫。种子萌发耐受 NaCl 胁迫的渗透势临界值和极限值均低于 PEG 胁迫,说明裸果木种子萌发阶段的耐盐性大于耐旱性。

参考文献(References):

〔1〕 汪之波,高清祥,孙继周,等. 珍稀濒危植物裸果木生物学特性研究〔J〕. 资源开发与市场,2009,25(6):481 - 483.〔Wang Zhibo,Gao Qingxiang,Sun Jizhou,et al. Study on biological characteristics of rare endangered plant *Gymnocarpos przewalskii*〔J〕. Resource Development & Market,2009,25(6):481 - 483.〕

〔2〕 柴永青,曹致中,蔡卓山,等. 肃北地区裸果木荒漠群落构成特征及物种多样性研究〔J〕. 草业学报,2010,19(1):21 - 27.〔Chai Yongqing,Cao Zhizhong,Cai Zhuoshan,et al. A study on species diversity of a *Gymnocarpos przewalskii* community in the Subei desert〔J〕. Acta Prataculturae Sinica,2010,19(1):21 - 27.〕

〔3〕 Ma S M,Zhang M L,Chen X. Predicting the potential distribution patterns of the rare plant *Gymnocarpos przewalskii* under present and future climate change〔C〕// International Conference on Consumer Electronics,2011:1 513 - 1 514.

〔4〕 李建国,濮励杰,朱明,等. 土壤盐渍化研究现状及未来研究热点〔J〕. 地理学报,2012,67(9):1 233 - 1 245.〔Li Jianguo,Pu Lijie,Zhu Ming,et al. The present situation and hot issues in the salt-affected soil research〔J〕. Acta Geographica Sinica,2012,67(9):1 233 - 1 245.〕

〔5〕 马巧利,孙彦,杨青川,等. NaCl 和等渗 PEG - 4000 胁迫对紫花苜蓿种子发芽及生理活性的影响〔J〕. 草地学报,2012,20(3):547 - 552.〔Ma Qiaoli,Sun Yan,Yang Qingchuan,et al. Influence of NaCl and osmotic PEG - 4000 stress on seed germination of *Medicago sativa*〔J〕. Acta Agrestia Sinica,2012,20(3):547 - 552.〕

〔6〕 李娟. 珍稀濒危植物裸果木群落物种多样性及其形态解剖学研究〔D〕. 临汾:山西师范大学,2012.〔Li Juan. The Studies on Species Diversity and Morphology and Anatomy of the Rare Endangered Plants of *Gymnocarpos przewalskii* Maxim〔D〕. Linfen:Shanxi Normal University,2012.〕

〔7〕 张玲卫,刘会良,盛建东. 埋藏对 10 种短命植物种子萌发特性的影响〔J〕. 干旱区研究,2018,35(3):633 - 639.〔Zhang Lingwei,Liu Huiliang,Sheng Jiandong,et al. Effect of burial on seed germination traits of 10 ephemeral plant species〔J〕. Arid Zone Research,2018,35(3):633 - 639.〕

〔8〕 李利,张希明,何兴元. 胡杨种子萌发和胚根生长对环境因子变化的响应〔J〕. 干旱区研究,2005,22(4):104 - 109.〔Li Li,Zhang Ximing,He Xingyuan. Effects of salinity and water potential on seed germination and radicle growth of riparian *Populus euphratica*〔J〕. Arid Zone Research,2005,22(4):104 - 109.〕

〔9〕 宗莉,甘霖,康玉茹,等. 盐分、干旱及其交互胁迫对黑果枸杞发芽的影响〔J〕. 干旱区研究,2015,32(3):499 - 503.〔Zong Li,Gan Lin,Kang Yuru,et al. Salt and drought stress effect and their interaction on germination of *Lycium ruthenicum* Murr.〔J〕. Arid Zone Research,2015,32(3):499 - 503.〕

〔10〕 渠晓霞,黄振英. 盐生植物种子萌发对环境的适应对策〔J〕. 生态学报,2005,25(9):2 389 - 2 398.〔Qu Xiaoxia,Huang Zhenying. The adaptive strategies of halophyte seed germination〔J〕. Acta Ecologica Sinica,2005,25(9):2 389 - 2 398.〕

〔11〕 王景伟,金喜军,杜文言,等. 干旱胁迫对芸豆种子萌发及生理特性的影响〔J〕. 干旱区研究,2014,31(4):734 - 738.〔Wang Jingwei,Jin Xijun,Du Wenyan,et al. Effect of drought stress on germination and physiological properties of *Phaseolus coccineus* seeds〔J〕. Arid Zone Research,2014,31(4):734 - 738.〕

〔12〕 杨景宁. 水分和盐分胁迫对四种荒漠植物种子萌发的影响〔D〕. 兰州:兰州大学,2007.〔Yang Jingning. Effects of Water and Salt Stress on Seed Germination of Four Desert Plant Species〔D〕. Lanzhou:Lanzhou University,2007.〕

〔13〕 王丽敏,张霞,张富春. 水盐胁迫对盐穗木种子萌发的影响〔J〕. 种子,2013,32(12):6 - 10.〔Wang Limin,Zhang Xia,Zhang Fuchun. Effects of water and salt stress on seed germination of *Halostachys caspica*〔J〕. Seed,2013,32(12):6 - 10.〕

〔14〕 穆延召,彭云玲,李玥,等. NaCl 胁迫对玉米杂交种子萌发的影响〔J〕. 甘肃农业大学学报,2013,48(6):40 - 44.〔Mu Yanzhao,Peng Yunling,Li Yue,et al. Effect of NaCl stress on seed germination of two maize hybrids〔J〕. Journal of Gansu Agricultural University,2013,48(6):40 - 44.〕

〔15〕 杨赵平,梁继业,柴学平,等. 环境因子对珍稀濒危植物裸果木种子萌发特性的影响〔J〕. 西南林业大学学报,2017,37(1):49 - 53.〔Yang Zhaoping,Liang Jiye,Chai Xueping,et al. Influence of environmental factors on seed germination of endangered plant *Gymnocarpos przewalskii*〔J〕. Journal of Southwest Forestry University,2017,37(1):49 - 53.〕

〔16〕 连转红,杨海莉,吴芳明,等. NaCl 或 PEG 胁迫对裸果木种子萌发的影响〔J〕. 中国水土保持科学,2017,15(6):89 - 96.〔Lian Zhuanhong,Yang Haili,Wu Fangming,et al. Effect of NaCl or PEG stress on seed germination of *Gymnocarpos przewalskii*〔J〕. Science of Soil and Water Conservation,2017,15(6):89 - 96.〕

〔17〕 Michel B E,Kaufmann M R. The osmotic potential of polyethylene glycol 6 000〔J〕. Plant Physiology,1973,51:914 - 916.

〔18〕 Michel B E,Radcliffe D. A computer program relating solute potential to solution composition for five solutes〔J〕. Agronomy Journal 1995,87(1):126 - 130.

〔19〕 陈培玉. 盐碱胁迫对紫穗槐种子萌发及幼苗的影响〔D〕. 郑州:河南农业大学,2013.〔Chen Peiyu. Effect of Saline-alkali Stress on Germination and Seedling of *Amorpha fruticosa* Seeds〔D〕. Zhengzhou:Henan Agricultural University,2013.〕

〔20〕 宋彬,胡安鸿,海利力·库尔班. 温度及盐胁迫对新疆两种沙棘种子萌发的影响〔J〕. 江西农业大学学报,2017,39(6):1 196 - 1 204.〔Song Bin,Hu Anhong,Hailil · Kurban. Influence of temperature and salt stress on seed germination of two species of *Hippophae rhamnoides* L. in Xinjiang〔J〕. Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis,2017,39(6):1 196 - 1 204.〕

〔21〕 刘有军,刘世增,康才周,等. 青海云杉种子萌发特性〔J〕. 干旱区研究,2013,30(5):877 - 881.〔Liu Youjun,Liu Shizeng,Kang Caizhou,et al. Seed germination of *Picea crassifolia* Kom.〔J〕. Arid Zone Research,2013,30(5):877 - 881.〕

〔22〕 严子柱,李得禄,满多清,等. PEG - 6000 模拟干旱胁迫对铃铛刺和披针叶野决明种子萌发的影响〔J〕. 干旱区研究,2017,34(1):88 - 94.〔Yan Zizhu,Li Delu,Man Duoqing,et al. Effects of simulated drought stress by PEG - 6000 on seed germination of *Halimodendron halodendron* and *Thermopsis lanceolata*〔J〕. Arid Zone Research,2017,34(1):88 - 94.〕

〔23〕 王志才,牙库甫江·阿西木,王艳,等. 水盐胁迫对花花柴种子萌发的影响〔J〕. 中国沙漠,2012,32(3):750 - 755.〔Wang Zh-

icai, Yakupujiang Aximu, Wang Yan, et al. Effects of salt and water stresses on seed germination of *Karilinia casp*[J]. Journal of Desert Research, 2012, 32(3): 750 – 755.]

[24] Badawi G H, Yamauchi Y, Shimada E, et al. Enhanced tolerance to salt stress and water deficit by over expressing superoxide dismutase in tobacco(*Nicotiana tabacum*) chloroplasts[J]. Plant Science, 2004, 166(4): 919 – 928.

[25] 高昆,张明阳. 干旱胁迫对番茄种子萌发和幼苗生长的影响[J]. 山西大同大学学报(自然科学版), 2017, 33(6): 56 – 59. [Gao Kun, Zhang Mingyang. Effects of drought stress simulated by PEG – 6000 on seed germination characters and seedling growth of *Lycopersicon esculentum*[J]. Journal of Shanxi Datong University (Natural Science Edition), 2017, 33(6): 56 – 59.]

[26] Zhu J K. Salt and drought stress signal transduction in plants[J]. Annual Review of Plant Biology, 2002, 53: 247 – 273.

[27] 李玉梅,姜云天,董雪松. 盐胁迫对东北薄荷种子萌发的影响[J]. 东北林业大学学报, 2018, 46(2): 22 – 28, 34. [Li Yumei, Jiang Yuntian, Dong Xuesong. Effects of salt stress on seed germination of *Mentha sachalinensis* (Briq.) Kudo. [J]. Journal of Northeast Forestry University, 2018, 46(2): 22 – 28, 34.]

[28] 马闯,张文辉,刘新成. 等渗的盐分和水分胁迫对杠柳种子萌发的影响[J]. 植物研究, 2008, 28(4): 465 – 470. [Ma Chuang, Zhang Wenhui, Liu Xincheng. Effects of iso-osmotic potential salt and water stress on the seed germination of *Periploca sepium* Bge. [J]. Bulletin of Botanical Research, 2008, 28(4): 465 – 470.]

[29] 张紫薇,庞春花,张永清,等. 等渗 NaCl 和 PEG 胁迫及复水处理对藜麦种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 作物杂志, 2017(1): 119 – 126. [Zhang Ziwei, Pang Chunhua, Zhang Yongqing, et al. Effects of iso-osmotic NaCl and PEG stress and rewatering on seed germination and seedling growth of quinoa[J]. Crops, 2017(1): 119 – 126.]

[30] 张海燕,赵可夫. 盐分和水分胁迫对盐地碱蓬幼苗渗透调节效应的研究[J]. 植物学报, 1998, 40(1): 56 – 61. [Zhang Haiyan, Zhao Kefu. Effects of salt and water stresses on osmotic adjustment of *Suaeda salsa* seedlings[J]. Acta Botanica Sinica, 1998, 40(1): 56 – 61.]

[31] 石新建,王彦芹,李志军. 盐旱胁迫对花花柴种子萌发与幼苗生理生化特性的影响[J]. 草业科学, 2017, 34(9): 1 855 – 1 862. [Shi Xinjian, Wang Yanqin, Li Zhijun. Physiological changes during seed germination and seedling development in *Karelinia caspia* Less. under drought and salinity stress[J]. Pratacultural Science, 2017, 34(9): 1 855 – 1 862.]

Effects of Salt and Water Stress on Seed Germination of *Gymnocarpos przewalskii*

WEI Zhen-yan, HUANG Hai-xia, OUYANG Er-qian, YANG Qi-qi, LIAN Zhuan-hong

(*College of Forestry, Gansu Agricultural University, Lanzhou* 730070, *Gansu, China*)

Abstract: In this study, the effects of simulated water (PEG – 6000) and salt (NaCl) stresses on seed germination of *Gymnocarpos przewalskii* were analyzed so as to determine its drought and salt tolerance by designing the osmotic potentials of –0.3, –0.5, –0.7, –0.9 and –1.2 MPa and distilled water as control (0 MPa). The result showed that the seed germination of *G. przewalskii* was inhibited significantly by the two stresses. PEG stress reduced significantly the seed germination index, vigor index and radicle length. When the osmotic potential was ≤ –0.7 MPa, the germination rate was significantly decreased. Germination index and radicle length were decreased significantly under NaCl stress. When the osmotic potential was ≤ –0.9 MPa, the germination rate was significantly reduced. Germination index, vigor index and radicle length were sensitive to salt and water stresses and could be used as the main indexes to evaluate the drought and salt tolerance of *G. przewalskii* seeds. Under iso-osmotic condition, when the osmotic potentials were –0.7 MPa and –0.9 MPa, the germination rate, vigor index and hypocotyl length of PEG stress were significantly lower than those of NaCl stress; when the osmotic potential was ≤ –0.7 MPa, the germination potential and germination index under PEG treatment were significantly lower than those under NaCl treatment, which indicated that the main factors affecting seed germination was osmotic stress rather than ionic toxicity. The critical and limit values of seed germination were –0.8 MPa and –1.1 MPa respectively under PEG stress, and they were –1.5 MPa and –2.2 MPa under NaCl stress. Which indicated that the salt tolerance of seed germination of *G. przewalskii* was higher than drought tolerance.

Key words: *Gymnocarpos przewalskii*; iso-osmotic condition; NaCl stress; PEG stress; seed germination; Anxi